

⑪ 日本国特許庁 (JP) ⑫ 公開特許公報 (A) ⑬ 特許出願公開
昭59—101587

⑪Int. Cl.³
F 03 D 7/04

識別記号 厅内整理番号
7001—3H

⑭公開 昭和59年(1984)6月12日
発明の数 1
審査請求 未請求

(全 5 頁)

⑮風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装置

⑯特 願 昭58—209763
⑰出 願 昭58(1983)11月8日
優先権主張 ⑯1982年11月8日⑮米国(US)
⑯440122

⑯發明者 カーミット・アイヴァン・ハーナー⁷
アメリカ合衆国コネチカット州
ウインザー・ダイアナ・レーン
7
⑯發明者 フランク・リチャード・ニーセン

アメリカ合衆国コネチカット州
イースト・ワインザー・サウス
・ウォーター・ストリート225
⑯發明者 ロバート・シャーマン
アメリカ合衆国コネチカット州
ウエスト・ハートフォード・カ
スケード・ロード8
⑯出願人 ユナイテッド・テクノロジーズ
・コーポレーション
アメリカ合衆国コネチカット州
ハートフォード・フィナンシヤル・プラザ1
⑯代理人 弁理士 明石昌毅

明細書

1. 発明の名称

風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装
置

2. 特許請求の範囲

複数個の可変ピッチのエアロフォイルブレード
が固定され直車列を介して発電機を駆動するロー
タを含む風力タービン発電機のためのブレードピ
ッチ角制御装置であって、定格風速以下の条件下
に於て所望のブレードピッチ角を示す基準信号を
発生する制御手段を含むブレードピッチ角制御装
置にして、

風力タービンの出力を示す出力信号を出力する
手段と、

前記風力タービンの回転速度を示す回転速度信
号を出力する手段と、

前記出力信号及び前記回転速度信号に応答して
定格風速以下に於て前記風力タービンが前記出力
を発生することに対応するブレードピッチ角設定
を示すブレードピッチ角基準信号を出力するよう

構成された信号処理手段と、
を含むブレードピッチ角制御装置。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、水平な軸線を有する風力タービン発
電機に於けるブレードピッチ角の制御に係り、特
に低風速条件下に於けるブレードピッチ角の制御
に係る。

現代の大型の軸線水平型の風力タービン発電機
は一般にロータ上に該着された二つ又はそれ以上
の可変ピッチブレードを含んでおり、ロータはギ
ヤボックスを介して同期発電機を駆動し、ギヤボ
ックスはメインターピンシャフトの回転速度を発
電機の同期作動に必要とされる回転速度にまで増
速する。かかる風力タービン発電機に於ては、一
般に、風の状況及びタービンの出力要件に応答して
ブレードのピッチを調節することが望ましい。
大型風力タービン発電機のための一つの適当なブ
レードピッチ制御装置が米国特許第4,193,
005号に記載されている。この米国特許に記載
された制御装置は風の状況、所望のタービン発

電機操作条件、実際のタービン-発電操作条件の如きパラメータに基づいてブレードピッチ変更駆動装置へブレードピッチ角基準信号を供給する閉ループ装置である。この米国特許の制御装置は四つのコントローラ、即ち始動時のロータの加速を制御する第一のコントローラと、停止時のロータの減速を制御する第二のコントローラと、同期発電機がオフライン状態にある場合に於けるロータの速度を制御する第三のコントローラと、発電機がオンライン状態にある場合に於ける電力又はトルクを制御する第四のコントローラとを含んでいる。これらのコントローラは時間微分されたピッチ角基準信号を積分器への入力信号として出力する。積分器の出力は上述のブレードピッチ角基準信号である。積分器は最大ブレード角停止位置と最小ブレード角停止位置とを含んでいる。最大ブレード角停止位置は 90° （ブレードのフルフェザリング状態）のブレードピッチ角に対応しており、最小ブレード角停止位置は可変であり、ロータ速度及び測定された風速の函数である。

上述の米国特許第4,193,005号に於て説明されている如く、コントローラにより設定されるブレードピッチ角基準信号は、カットイン風速（風力タービン発電機が有効な電力を発生し得る最小風速）と定格風速（風力タービン発電機が定格電力を発生する最小風速）との間に於ける風速条件下に於ては、或る最小値（積分器の最小ブレード角停止位置）に制限される。風速の上述の範囲に於ては、風の強さより可能な最大量のエネルギーを捕捉するためにはブレードのピッチ角が上述の最小値に設定されることは風力タービンの作動にとって重要である。上述の範囲内の値よりも風速が大きい場合には、定格電力を発生するに十分な風エネルギー以上のエネルギーが存在し、従ってエネルギーの一部は風力タービンの作動時にブレードより回復される。しかしこの範囲内に於ても、ブレードはかなりの量のエネルギーがブレードより漏れることがないよう最小ピッチ角に正確に設定されなければならない。

前述の米国特許の制御装置に於ては、速度比ス

（或る定数とブレードの直徑とブレードの回転速度との積を風速にて除算した値）の函数として最小ピッチ角（ β_{min} ）の値が回数発生器又はメモリ204内に記憶されている。従って正確な β_{min} 信号を発生するためには、回数発生器204には風速及びロータの回転速度の正確な値が入力されなければならない。ロータの回転速度は容易に且正確に測定可能であるが、風速を正確に測定することは容易ではない。従来より一般に、風力タービンのロータより離れた或る位置に装着されたポイントセンサにて風速を測定することが行われている。かかるセンサはその近傍の位置に於ける風速しか検出し得ず、また風速は均一ではないので、かかるセンサによつてはロータに於ける風速を正確に測定することはできない。更に、たとえ速度センサがロータに於ける風速条件を正確に測定し得たとしても、その測定値はセンサの位置に於ける風速を示すものでしかない。精度を向上させるためには、最小ブレードピッチ角信号はロータの全領域に亘り積分された風の条件に基づくも

のでなければならない。ポイント風速センサはかかる測定をなし得るものではない。最小ブレードピッチ角がタービンの作動を制御する上述の如き低風速条件下に於ては、風速の測定値の値かな誤差に於ても、タービンが捕捉し得る風エネルギーの量、従ってタービンの出力が大きく低下するブレードピッチ角設定状態になる。

従って本発明の主要な目的は、定格以下の風速条件下に於ても作動する大型風力タービン発電機のための最小ブレードピッチ角設定を正確に決定する改良された制御装置を提供することである。

本発明の他の一つの目的は、ブレードピッチ角設定が或る一点の位置ではなく風力タービンロータ全体に亘る風速条件に基づいて決定されるよう構成されたブレードピッチ角制御装置を提供することである。

本発明の更に他の一つの目的は、最小ブレードピッチ角が正確に且適宜に測定可能な条件に基づいて決定されるよう構成されたブレードピッチ角制御装置を提供することである。

本発明によれば、定格以下の風速条件に於ける風力タービンのブレードピッチ制御のための最小ピッチ角基準信号は、或る一点の位置に於て測定された風速ではなくタービンの出力電力又はトルクを基準に決定される。必要とされる最小ブレードピッチ角を電力又はトルクを基準に決定することにより、ブレードピッチ角基準信号が風力タービンのロータより離れた或る一点に於ける条件ではなくロータ全体に亘り積分された条件に基づいて計算される。更にトルク及び電力は風速よりも正確に測定可能であり、これにより得られる最小ブレードピッチ角基準信号の精度が向上される。計算されたブレードピッチ角信号の精度が向上されることにより、タービンの風エネルギー捕獲能力、従ってその出力能力が最適化される。

以下に添付の図を参照しつつ、本発明を実施例について詳細に説明する。

添付の第1図に本発明によるブレードピッチ角制御装置が符号10にて全体的に示されている。制御装置10にはライン15にブレードピッチ角

5へ供給され、該リミッタによりそれに供給された信号がタービンのピッチ変更駆動装置内のブレードピッチアクチュエータの能力に合致する値に制限される。例えばブレードのピッチが流体圧アクチュエータにより設定される場合には、リミッタ45は時間微分信号をアクチュエータへ加圧された流体を供給するポンプの能力に対応する値に制限する。かくして制限された時間微分信号はリミッタ45より加算接合点50へ供給される。加算接合点50は制限された時間微分信号と回路55よりライン60へ供給される出力信号との間の偏差を計算し、その偏差をライン75を経て積分器70へ供給する。積分器70は時間微分信号を積分し、これによりライン80を経てブレードピッチ駆動装置85へブレードピッチ角基準信号BRを供給する。ブレードピッチ駆動装置85は風力タービンのブレードのピッチをその基準信号に一致するよう設定する。ブレードピッチ駆動装置85は本発明の一部をなすものではなく、従って本明細書に於てはそれについての詳細な説明は省略

特開昭59-101587(3)

基準信号の時間微分信号(\dot{B}_R)を、ライン20に風力タービンローターの実際の回転速度を示す回転速度信号(N_R)を、ライン25に風力タービンの実際の出力電力を示す電力信号(P)をそれぞれ入力されるようになっている。回転速度信号及び電力信号はそれぞれ当技術分野に於てよく知られた適当なトランジスターサ30及び35より容易に得られる。ブレードピッチ角信号の時間微分信号(\dot{B}_R)は前述の米国特許第4,193,005号のコントローラを含み該米国特許の第8図に示された積分器セクションより低級のコントローラ40より得られる。かくしてライン15の時間微分信号(\dot{B}_R)は例えば前述の米国特許のモードセレクタ96により与えられ、前述の米国特許の制御装置の作動は該米国特許より容易に得られる。図示の好ましい実施例の制御装置10は前述の米国特許の第8図に示された部分であってその第3図のロック輪図の符号104にて示された部分に対応している。

ライン15の時間微分信号(\dot{B}_R)はリミッタ4

する。尚風力タービン用の適当なブレードピッチ駆動装置が米国特許第4,348,155号に記載されている。

ライン80のブレードピッチ角基準信号はライン90を経て回路55へも供給される。回路55はブレードピッチ角を許容し得る最大ピッチ角値及び最小ピッチ角値と比較し、ライン90の基準信号が最大ピッチ角信号と最小ピッチ角信号との間にある場合には、ライン60を経て加算接合点50へ零信号を出力する。ライン80のブレードピッチ角基準信号がブレードのフェザリング状態に対応する許容し得る最小(90°)基準信号よりも大きい場合には、回路55はライン60へ高利得出力信号を供給し、これにより加算接合点50へ供給される時間微分入力信号がキャンセルされて積分器70が遮断され、これによりブレードピッチ駆動装置85へ供給される許容し得る最大ピッチ角基準信号が 90° に制限される。同様に、ライン80のピッチ角基準信号が許容し得る最小ピッチ角(MINB)以下である場合には、回路

特開昭58-101587(4)

55はライン60へ高利得出力信号を供給し、これにより加算接合点50に於て時間微分信号がキャンセルされて積分器70が最小（定格以下）の風速条件下に於ける所望のブレードピッチ角設定に対応する最小値以下の値に積分することが防止される。前述の如く、回路55内の最大ブレードピッチ角信号は回路55内に記憶された定数（90°）であるのに対し、最小ピッチ各信号（MINB）は間数発生器95よりライン100を経て回路55へ入力される変数である。

上述の如く、定格風速以下の条件下に於ては、風力タービンのブレードはブレードより風が潤ることなくブレードにより風のエネルギーが最適状態にて捕捉されることに対応するMINB位置に設定される。更に、かかる最適の風エネルギー捕捉状態を達成すべく、MINB信号の精度が最適化されなければならない。本発明によれば、かかる信号の正確さはある一点に於ける風速ではなく、風力タービンロータの回転速度及び風力タービンの出力電力に基づいてライン100へMINB出

力信号を供給する間数発生器95により達成される。添付の図面に示されている如く、間数発生器95内には $(\frac{N_0}{N_R})^3 P$ の関数としてMINBの値が記憶されている。この式に於て、Pはタービンの実際の出力電力を示しており、N_Rはタービンロータの回転速度を示しており、N₀はタービンロータの公称回転速度、換言すればカットイン風速に於けるロータの最大回転速度を示している。

出力電力自体は風速の関数である。従って出力電力を基準にしてMINB基準信号を設定することにより、該基準信号は風力タービンのロータの全体を横切る風速条件を基準にしたものとなり、これによりその基準信号の精度が向上する。タービンの出力電力が測定される精度により更にピッチ角基準信号の精度が向上される。

間数発生器95は以下の如くプログラム化されてよい。第2図は一つの典型的な大型風力タービン発電機のための性能マップを示している。このマップはタービンのジオメトリーを基準に公知の分析法によって決定されたものである。性能マッ

プは種々の多段のブレードピッチ角設定について速度比を横軸に動力係数C_P（タービンにより遮断される風の流れ内に存在する動力の量に対するタービンにより捕捉される動力の量の比）を示す一群の曲線を含んでいる。或る任意の速度比に対する各ピッチ角に対応する一つの最大動力係数が存在することが解る。逆の言い方をすれば、或る与えられた速度比に於て風力タービンが最大動力係数を取り得る一つのブレードピッチ角設定が各最大動力係数間に存在する。任意の速度比に対し、第2図に示されたデータより、公称風速は以下の様により計算される。

$$V_0 = \frac{\pi N_0 D}{60 \lambda}$$

ここにDは風力タービンのロータの直径である。

公称風速が計算されると、以下の式により公称動力が計算される。

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi D^3}{4} (V_0)^3 C_{p0}$$

ここにρは空気の密度であり、C_{p0}はV₀が計

算された際の速度比に対応する最大動力係数である。

かくして第2図に示された最大動力係数に対する各ピッチ角毎に対しそれぞれ対応する公称動力の値が一つづつ存在することが解る。間数発生器95は或る与えられた風速に於て上述の如き公称出力動力が達成されるブレードピッチ角設定（MINB）、換言すればその風速に於て風より最適量のエネルギーが捕捉されるブレードピッチ角設定を出力する。間数発生器95内に於ては $(\frac{N_0}{N_R})^3$

は計算された動力が公称動力であるという事実により必要とされる補正係数である。実際の動力は下記の式により公称動力と関連している。

$$\frac{P_0}{P} = \left(\frac{N_0}{N_R} \right)^3$$

本発明の風力タービンのブレードピッチ角制御装置はアナログ式又はデジタル式に容易に実施される。従って間数発生器95はデジタルデータルックアップメモリを含んでいてよい。同様に上述の他の構成要素はアナログ式又はデジタル式の装

特開昭59-101587(5)

第2図は一つの典型的な大型風力タービン発電機の性能マップを示すグラフである。

10…ブレードピッチ角制御装置、45…リミッタ、50…加算接合点、55…回路、70…積分器、85…ブレードピッチ駆動装置、95…開啟発生器

特許出願人 ユナイテッド・テクノロジーズ・
コーポレーション

代理人 弁理士 明石昌毅

置を含んでいてよい。以上に於ては本発明による制御装置を出力電力に基づいて最小ブレードピッチ角を制御する装置について説明したが、ピッチ角信号はタービンシャフトのトルクに亘りて求められてもよく、この場合実際のトルクは電力と同様、タービンロータ全体を横切る風速条件を積分する最小ブレードピッチ角設定のための基準となるものであることが理解されよう。更に、以上に於ては本発明による制御装置を前述の米国特許第4,193,005号の制御装置の如きブレードピッチ角制御装置のためのサブ装置として例示的に説明したが、本発明による制御装置はかかる用途に限定されるものではなく、低風速条件下における最小ブレードピッチ角を示す信号を必要とする任意のブレードピッチ角制御装置に於て採用されてよいものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装置の好適な実施例を示すプロック線図である。

FIG. 1

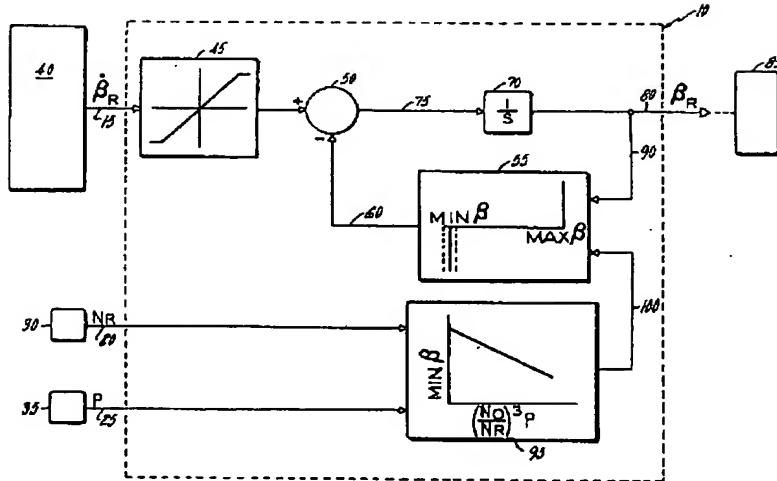


FIG. 2

